

VU Research Portal

50 jaar Laser

Ubachs, W.M.G.

published in

Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde
2010

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

citation for published version (APA)

Ubachs, W. M. G. (2010). 50 jaar Laser. *Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde*, 76, 172-174.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

E-mail address:

vuresearchportal.ub@vu.nl

Vijftig jaar laser

Toen Ted Maiman op 16 mei 1960 voor het eerst laserwerking initieerde en dat feit meldde tijdens een persconferentie op 7 juli van datzelfde jaar in New York, ging dat meteen gepaard met allerlei speculaties over toepassingen, waarbij die op het gebied van communicatie op afstand en die van militaire aard de boventoon voerden. Toch werden de verwachtingen al vroeg in de jaren zestig getemperd en Maiman zelf spreekt in zijn autobiografie (zie elders in dit nummer) van een “oplossing die een probleem zoekt”. Wat betreft de mogelijkheden voor communicatie hebben we lang moeten wachten; die namen pas een hoge vlucht na de ontwikkeling van optische vezels met lage verliezen, en de daarbij behorende diodelasers in het 1,5 micron gebied. Maar in het afgelopen decennium is de optische telecommunicatie op volle toeren geraakt en de laser zorgt nu voor de bandbreedte die de internetrevolutie gestalte geeft. Het is een technologische ontwikkeling die evenveel impact op het maatschappelijke leven heeft als de introductie van stoomenergie en de elektriciteitsvoorziening ooit hadden. Ondanks dat Maiman al meteen in 1960, overigens tot zijn grote ongenoegen, als de *Death Ray* man werd afgeschilderd, heeft het met militaire toepassingen nooit zo willen vlotten. Eind jaren tachtig, in de tijd van Ronald Reagan, probeerden de Amerikanen het Star Wars-programma te lanceren, waarbij het doel was om vijandige raketten met lasers neer te halen. Dit heeft het niet gehaald om politieke, maar ook om technisch-wetenschappelijke redenen. Ook van de lichtzwaarden, waarmee Luke Skywalker en Obi-Wan Kenobi in Star Wars ten strijde trekken is het nog niet gekomen. De meest gebruikte militaire toepassing van de laser lijkt te liggen in projectielgeleiding.

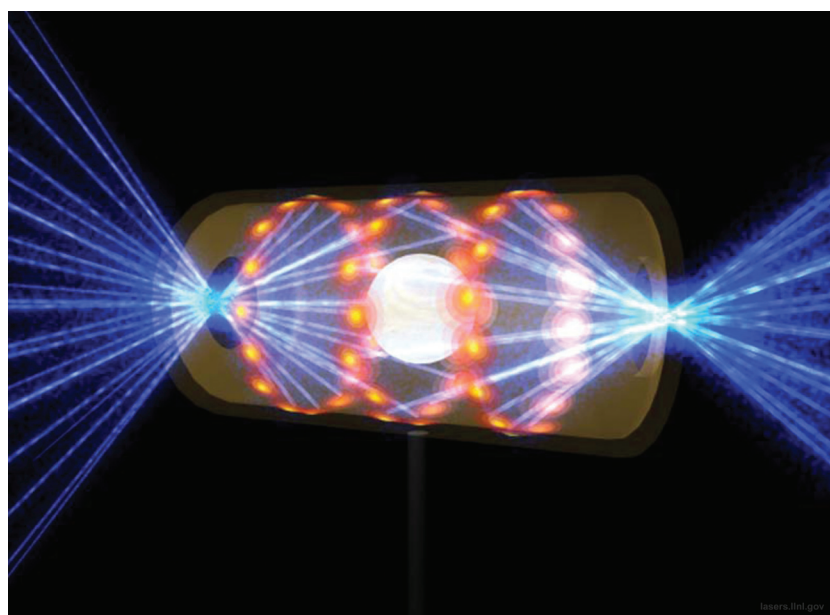
Over medische toepassin-

gen werd vanaf het begin druk gespeculeerd, maar ook hier hebben de belangrijkste ontwikkelingen pas in de laatste twee decennia plaatsgevonden. Ieder medisch specialisme, van tandheelkunde tot oogheelkunde kent nu het gebruik van de laser, waarbij het vaak gaat om het lokaal verbranden van een stukje weefsel of het induceren van een verhardingsreactie. Vooral de medische ontwikkeling heeft ertoe geleid dat er nu een werkwoord ‘laseren’ en een voltooid deelwoord ‘gelaserd’ bestaan, hoewel het onduidelijk blijft om welke behandeling het hier precies gaat. Zo werd ik, als vermeend specialist, onlangs door een oud-tante ondervraagd over het feit dat ze ‘gelaserd was’; ik heb toen niet kunnen achterhalen welk fenomeen zich daar voltrokken heeft. Een van de eerste veelvuldig gebruikte medische toepassingen is de fotodynamische therapie, waarmee wijnvlekken succesvol behandeld worden. Momenteel is er veel aandacht voor het gebruik van de laser in medische afbeeldingstechnieken, zoals bijvoorbeeld bij optische-co-

herentie tomografie (zie het stuk van Dirk Faber in dit nummer).

Lasers zijn er in allerlei maten en gedaanten. De kleinste lasers zijn de minuscule diodelasers, die veelvuldig hun weg gevonden hebben in cd-spelers, in laserprinters, en die nu gebruikt worden in de telecommunicatie (zie het artikel van Jan Danckaert en Guy Verschaffelt in dit nummer). Mogelijk nog kleiner zijn de ‘nanolasers’, in dit nummer van NTvN beschreven door Martin Hill. De grootste lasers zijn de immense constructies van de National Ignition Facility, onderdeel van het Amerikaanse fusieprogramma, waar met 192 laserbundels deuterium-tritium samples worden beschoten om fusie op gang te brengen. Onlangs zijn daar laserpulsen van meer dan 1 megajoule energie gegenereerd.

Overigens is minder bekend dat ook de Fransen een vergelijkbare faciliteit opbouwen onder de naam Laser-Megajoule in de buurt van Bordeaux. Daar streeft men ernaar om een energie van 1,8 MJ op een deuterium-tritium pellet te focuseren met 240 bundels. De kos-



Artistieke impressie van de National Ignition Facility. Met de opstelling van 192 lasers kan een vermogen tot 1 MJ geconcentreerd worden op een buisje (hohlraum) gevuld met een capsule vol waterstofisotopen (deuterium en tritium, de witte bol in het centrum). De energie van de lasers wordt aan de wanden van de hohlraum omgezet in röntgenstraling die het oppervlak van de capsule met waterstofisotopen verhit en sterke compressie veroorzaakt in de capsule. Het doel is om op deze manier kernfusie tot stand te brengen (credit: Lawrence Livermore National Laboratory).

ten gaan de 1 miljard euro te boven, maar grandeur mag wat kosten in Frankrijk, ook als het om lasers gaat.

“Alles kan laseren, als je maar hard genoeg pompt”, zei Art Schawlow. Samen met Ted Hänsch probeerde hij twaalf verschillende smaken van de in de supermarkt verkrijgbare gele Jell-O tot laserwerking te brengen via flitslamppompen. Dat werkte pas toen ze de concentratie van fluorescente kleurstof iets verhoogden, maar dat leidde dan ook tot de ‘eetbare laser’.

Terwijl lasers, weliswaar langzaam, hun weg beginnen te vinden in maatschappelijke en industriële toepassingen, hebben ze mijns inziens de afgelopen 50 jaar de grootste impact gehad op de wetenschap zelf. Dat was onverwacht. Intuïtief is het helder dat lasers gebruikt kunnen worden voor lokale verhitting, zoals in de toepassingen van laserprinters (zie ook de bijdrage van Karel Schell in dit nummer) en bij het laserlassen. Maar dat lasers ook een revolutie teweeg brachten in het afkoelen van materie was een complete verrassing. En niet zomaar afkoelen, er konden ordes van grootte lagere temperaturen worden behaald via ingenieuze laserkoelschema's. Hierbij moest de golflengte wel precies worden afgestemd ten opzichte van atomaire resonanties, om effectief de energie uit de bewegingsvrijheidsgraden te halen. De ontwikkeling van die technieken (Nobelprijs 1997 voor Steven Chu, Claude Cohen-Tannoudji en Bill Phillips) leidde ons linea recta naar een lang gekoesterde heilige graal van de natuurkunde, die van Bose-Einsteincondensatie, een nieuwe fase van materie door Einstein in 1926 voorspeld en in 1995 waargenomen in een gas van gekoelde rubidiumatomen (Nobelprijs 2001 voor Eric Cornell, Wolfgang Ketterle en Carl Wieman). Het prepareren, manipuleren en bestuderen van ultrakoude gassen heeft een enorme vlucht genomen in de moderne fysica en richt zich op dit moment op het ontrafelen van fenomenen, die niet met de gangbare technieken van de gecondenseerde materie gedemonstreerd of gereali-



seerd kunnen worden.

Het vakgebied van de niet-lineaire optica is eveneens geopend door de uitvinding van de laser; zie ook de bijdrage over Nicolaas Bloembergen in dit nummer. Frequentieconversie (frequentieverdubbeling, -verdrievoudiging, hogere harmonische generatie, frequentiemenging) geeft via niet-lineaire optica toegang tot grote stukken van het elektromagnetisch spectrum; zo is het mogelijk om coherente straling in het gebied van het extreme ultraviolet en zachte röntgen

te produceren en daar dan ook weer experimenten te doen. Verder worden niet-lineaire optische technieken toegepast om lokaal (in een focus) deeltjes te detecteren, alsmede hun dichtheid en temperatuur. In de jaren tachtig was CARS (coherente anti-Stokes Raman spectroscopie) populair in de verbrandingsfysica, en momenteel is er een opleving van CARS bij het bestuderen van weefsel in de biomedische diagnostiek. Als alternatief is de toepassing van multi-fotonafbeeldingstechnieken in weefsel ingenieus: nabij-infrarood licht kan indringen in het weefsel en alleen in een gelocaliseerd punt van een focus ontstaat er via harmonische conversie uv-licht dat wordt gebruikt voor het genereren van een afbeelding met hoge

ruimtelijke resolutie.

De brede toepasbaarheid van lasers kan onmogelijk volledig beschreven worden. Methodes gebaseerd op interferometrie, om afstanden en andere parameters (temperatuur, druk, stress in materiaal) te meten zijn talrijk. Grote Sagnac-interferometers meten exact de omwentelingssnelheid van de aarde. De Apollo-astronauten waren zo aardig om een retroreflector op de maan achter te laten, waar we nu laserpulsen naar toe schieten om de dynamica van ons planetenstelsel te vol-



Artemis en SPOT 4 communiceren met elkaar via SILEX, een laser-optische verbinding (credits: ESA-J. Huart).



Uitzicht op de westelijke buis van VIRGO.

gen. Lasers kunnen worden gebruikt om op 80 km hoogte in de aardse atmosfeer OH-radicalen te detecteren. Andere LIDAR-technieken, namelijk met een laser op een satelliet (zie de bijdrage van Ad Stoffelen in dit nummer), bepalen het windsnelheidsprofiel over de gehele aarde. Speciaal is de toepassing van smalbandige laserstraling in de grootste interferometers ter wereld, die van de gravitatiegolfdetectors LIGO (in de VS) en VIRGO (in Italië). Via ingenieuze schema's probeert men daar relatieve lengteveranderingen van 10^{-22} te meten om zo Einsteins voorspelling voor het bestaan van gravitatiegolven te demonstreren. Dat zou een wetenschappelijke doorbraak zijn vergelijkbaar met die van Bose-Einsteincondensatie, met mogelijk net zulke verstrekende gevolgen en mogelijkheden ('een nieuw zintuig op het universum'). De onderzoekers zijn er vast van overtuigd het bewijs te leveren in het lopende decennium.

Een bijzonder aspect van lasers is de mogelijkheid van ultrakorte lichtpulsen, waarmee enorm hoge intensiteiten behaald kunnen worden. Al in de eerste robijnlaser van Maiman werden pulsen van microseconden geproduceerd door de zelfrelaxatie van de populatie-inversie. Niet lang daarna werden met Q-switch-technieken hoogenergetische pulsen van nanoseconden geproduceerd, in robijn en in andere lasers. Een echte doorbraak werd gerealiseerd met de uitvinding

van *mode-locking*. Een groot aantal modes in een laser koppelen (via niet-lineaire effecten) in fase aan elkaar, waardoor er effectief een korte puls ontstaat van picoseconde tijdsduur. Met de uitvinding van het materiaal titaan:saffier bleek mode-locking mogelijk over een zeer breed golflengtegebied, waardoor pulsen van 10 femtoseconden en korter geproduceerd konden worden. Dat gaf aanleiding tot de femtorevolutie, alweer een doorbraak in de wetenschap zelf. In experimenten met pulssequenties van korte duur en tijdsinterval kunnen chemische reacties gevolgd worden op een tijdschaal waarin chemische bindingen gebroken en gevormd worden, en daarmee zichtbaar worden gemaakt (Zewail, Nobelprijs 1999). Een van de belangrijke resultaten met deze ultra-korte laserpulsen is het begrip dat we gekregen hebben van de opeenvolgende fysische processen in de fotosynthese.

Een recente doorbraak werd gerealiseerd met het frequentiekamprincipe waarbij alle modes in een gemode-lockte laser zodanig gecontroleerd worden dat alle frequenties bekend zijn met de nauwkeurigheid van een atoomklok (voor een gedetailleerde beschrijving zie de bijdrage van Anne Lisa Wolf en Kjeld Eikema in dit nummer). De uitvinding waarvoor Hänsch en Hall de Nobelprijs verdienden (2005) was klein maar subtiel, en had grote implicaties. Mede daardoor is er een revolutie op gang gekomen van ul-

tra-precieze frequentiemetingen, van ultrastabiele atoomklokken.

De laser heeft vijftig jaar lang een enorme impact gehad, zeker in de wetenschap. Op welke doorbraken wachten wij in de komende decennia? Zullen we gravitatiegolven kunnen detecteren, kunnen we mogelijk de moleculaire en roosterstructuur van complexe moleculen (eiwitten) en vaste stoffen meten op een tijdschaal waarop de karakteristieke bewegingen van de atomen plaatsvinden, via röntgenlasers? Zal quantum-computing (hier niet besproken) met lasergekoelde objecten mogelijk blijken? Zal het idee van 'coherente controle', het op een gecontroleerde manier aansturen van het reactiepad in chemische reacties, toch ooit werkelijkheid worden? Zullen we de energieniveaustructuur van atomen en moleculen zo precies kunnen meten dat we de effecten van nog onbegrepen fenomenen kunnen waarnemen (donkere materie, nieuwe exotische deeltjes) of zelfs een mogelijke tijdsvariatie van de natuurconstanten? Wie weet, de toekomst van de laser zal zeker verrassingen brengen; het potentieel is nog verre van uitgeput, dat hebben de ontwikkelingen van het laatste decennium duidelijk gemaakt...

Wim Ubachs, hoogleraar atoom-, moleculen laserfysica aan de VU en directeur van het Lasercentrum VU. Tevens gelegenheidsredactielid van dit themanummer.

Bij de omslag:

Theodore Maiman construeerde vijftig jaar geleden als eerste een werkende laser. Dit was een robijnlaser. De structuur van robijn is te zien in het hologram, dat met een laser gemaakt wordt.

